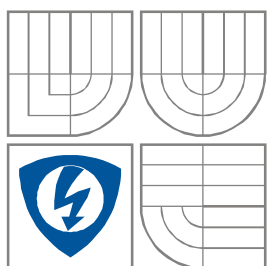


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLÓGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MĚŘENÍ A ANALÝZA NEHARMONICKÝCH SIGNÁLŮ V PROGRAMU LABVIEW

MEASURING AND ANALYSIS OF NON-HARMONIC SIGNAL IN LABVIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

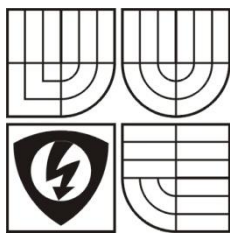
Jiří Potyš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Rostislav Huzlík

BRNO, 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Potyš Jiří

Ročník: 3

ID: 106732

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Měření a analýza neharmonických signálů v programu LabVIEW

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s možnostmi měření elektrického výkonu a měřením efektivních hodnot.
2. V programu LabVIEW vytvořte funkci pro měření harmonického a neharmonického výkonu.
3. Pomocí programu LabVIEW proveďte měření elektrického motoru napájeného z frekvenčního měniče.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 1.10.2009

Termín odevzdání: 27.05.2010

Vedoucí projektu: Ing. Rostislav Huzlík

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím programu LabVIEW pro měření a analýzu neharmonických signálů. V úvodní části je představen stručný přehled celé bakalářské práce. Druhá kapitola popisuje samotný program LabVIEW, jeho možnosti a využití pro virtuální měřicí přístroje. Třetí část seznamuje s možnostmi využití frekvenčních filtrů v oblasti signálů. Čtvrtá část bude obsahovat teoretické základy Fourierovy transformace, její použití, možnosti aplikace v programu LabVIEW a použití okenních funkcí. Pátá kapitola nastíní měření efektivních hodnot různých druhů signálů. Šestá kapitola obsahuje poznatky z oblasti měření činného výkonu. Sedmá kapitola popisuje návrh měřicího programu a výsledky vypočtených a naměřených dat pomocí tohoto programu. Závěr tvoří zhodnocení výsledků této práce v porovnání se skutečným přístrojem Yokogawa WT 1600 sloužícím k analýze signálů.

Abstract

This thesis will be concerned with using the program LabVIEW for measuring and analyzing of non-harmonic signals. An introducing of the bachelor thesis present a strict summary. The second chapter describe the program LabVIEW, its abilities and application for virtual instruments. The third part describe possibilities of using the frequency filters in signals area. The fourth part will be included the theoretical basics of the Fourier transform, its use and possible applications in LabVIEW program and the use of window functions. The fifth chapter outlines the measurement of effective values of different types of signals. The sixth chapter contain information about the measurement of active power. The seventh chapter describe the plan of the measurement program and the results of calculated and measured dates of this program. The final part make evaluating of the results of this bachelor thesis in comparison with a real appliance Yokogawa WT 1600 for analysis of signals.

Klíčová slova

LabView, elektrický výkon, efektivní hodnota, měření

Keywords

LabView, electric power, RMS value, measurement

Bibliografická citace

POTYŠ, J. *Měření a analýza neharmonických signálů v programu LabVIEW*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Rostislav Huzlík.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma **Měření a analýza neharmonických signálů v programu LabVIEW** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

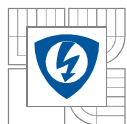
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Rostislavu Huzlíkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

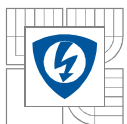
V Brně dne

Podpis autora



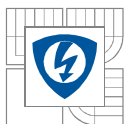
OBSAH

1 ÚVOD.....	10
2 LABVIEW.....	11
2.1 CO JE TO LABVIEW	11
2.2 VIRTUÁLNÍ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	11
3 POUŽITÍ FILTRŮ.....	12
3.1 FILTRY	12
3.2 TOLERANČNÍ SCHÉMATA FILTRŮ	12
3.3 TYPY APROXIMACÍ PŘENOSOVÝCH CHARAKTERISTIK.....	13
3.3.1 BUTTERWORTHOVA APROXIMACE	13
3.3.2 ČEBYŠEVOVA APROXIMACE	13
3.3.3 BESSELOVA APROXIMACE	13
3.3.4 CAUEROVA (ELIPTICKÁ) APROXIMACE	13
4 FOURIEROVA TRANSFORMACE	14
4.1 FT V OBLASTI SPOJITÝCH SIGNÁLŮ	14
4.2 DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE DFT	15
4.2.1 RYCHLÁ FOURIEROVA TRANSFORMACE FFT	15
4.3 FOURIEROVA ŘADA PERIODICKÉ FUNKCE	15
4.3.1 KOEFICIENTY FOURIEROVY ŘADY	15
4.4 BLOK FFT SPEKTRUM.....	16
4.5 OKENNÍ FUNKCE	18
4.5.1 OBDÉLNÍKOVÉ OKNO.....	18
4.5.2 HANNINGOVO OKNO.....	18
4.5.3 HAMMINGOVO OKNO.....	19
4.5.4 BLACKMAN-HARRISOVO OKNO	19
5 MOŽNOSTI MĚŘENÍ EFEKTIVNÍCH HODNOT	20
6 ČINNÝ VÝKON	22
6.1 ČINNÝ VÝKON NEHARMONICKÉHO SIGNÁLU.....	22
6.2 OBVYKLÉ MĚŘENÍ VÝKONU STŘÍDAVÉHO PROUDU	24
6.2.1 YOKOGAWA WT 1600.....	26
7 POPIS PROGRAMU A MĚŘENÍ.....	28
7.1 ČÁST MĚŘICÍ.....	28
7.2 ČÁST VÝPOČETNÍ.....	29
7.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	31
7.3.1 EFEKTIVNÍ HODNOTY NAPĚTÍ A PROUDU.....	31
7.3.2 VÝKON	33
8 ZÁVĚR.....	36
LITERATURA	37



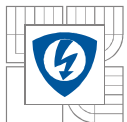
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3.1 Dolní propust [8].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3.2 Horní propust [8]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3.3 Pásmová propust [8]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3.4 Pásmová zádrž [8].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 4.1 Blok pro výkonové spektrum</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 4.2 Funkce pro výpočet FFT spektra složeného z amplitudy a fáze časového signálu</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4.3 Tvar nejpoužívanějších okenních funkcí a jejich spektra [10].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5.1 Proud sinusového průběhu s maximem 1A [9]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5.2 Plocha dvojnásobné práce [9]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6.1 Měření výkonu střídavého proudu v jednofázové síti, první zapojení [12]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 6.2 Měření výkonu střídavého proudu v jednofázové síti, druhé zapojení [12].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 6.3 Yokogawa WT 1600 [18]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 7.1 Flat Sequence Structure o třech rámcích.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7.2 Smyčka For Loop.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7.3 Měřicí část programu</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 7.4 Index Array Function.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 7.5 Blok Unbundle By Name Function pro amplitudu a fázi.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 7.6 Výpočetní část programu</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7.7 Pohled na čelní panel programu</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 7.8 Celkový pohled na velikost relativních chyb vypočteného výkonu.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 7.9 Detailní pohled na velikost relativních chyb vypočteného výkonu.....</i>	<i>35</i>



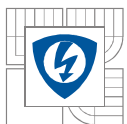
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Přehled okenních funkcí.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2 Efektivní hodnoty proudů nesinusových [9].....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3 Výpočet relativních chyb sinusového průběhu</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4 Výpočet relativních chyb obdélníkového průběhu.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 5 Výpočet relativních chyb pro průběh rampa</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6 Výpočet relativních chyb pulzního průběhu</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7 Vypočtené relativní chyby výkonu pro sinusový průběh</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 8 Vypočtené relativní chyby výkonu pro obdélníkový průběh.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 9 Vypočtené relativní chyby výkonu pro průběh rampa</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 10 Vypočtené relativní chyby výkonu pro pulzní průběh</i>	<i>34</i>



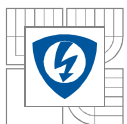
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

VI	Virtuální přístroje	
LC	Zapojení filtru s indukčností a kapacitou	
RC	Zapojení filtru s rezistencí a kapacitou	
FFT	Rychlá Fourierova transformace	
P	Elektrický výkon	[W]
U	Elektrické napětí	[V]
I	Elektrický proud	[A]



1 ÚVOD

Bakalářská práce na téma Měření a analýza neharmonických signálů v programu LabVIEW seznamuje čtenáře s využitím programu LabVIEW k měření efektivních hodnot proudů, napětí a výpočtu elektrického výkonu pomocí Rychlé Fourierovy Transformace. Teoretická část se zabývá možnostmi a teoretickými podklady, které budou využitelné pro praktické měření. Jedná se o základní přehled kmitočtových filtrů, základní vztahy a teoretické poznatky o Fourierově Transformaci. Následují způsoby a možnosti měření, výpočtů efektivních hodnot a činného výkonu. Další část seznamuje s popisem a tvorbou programu pro měření a výpočet efektivních hodnot a výkonu. Na tuto část navazuje zpracováním výsledků práce v podobě přehledných tabulek a grafů. Praktické měření ověřuje použitelnost navržené aplikace v porovnání se skutečným analyzátelem signálů Yokogawa WT 1600.



2 LABVIEW

2.1 Co je to LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je grafické vývojové prostředí, vyvinuté americkou firmou National Instruments. Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami avšak v grafické podobě - tzv. G jazyk (Graphical language).

Je to tedy počítačový program pro praktická měření, např. v elektrotechnice, s použitím počítače. V LabVIEW vytváříme uživatelsky přívětivé rozhraní programu pomocí indikátorů, ovládacích prvků atd. K tomu nám slouží tzv. čelní panel (Front Panel). Mezi indikátory (Indicators) řadíme grafy, LED diody, grafické ručičkové a numerické ukazatele hodnot atd. Ovládacími prvky (Controls) rozumíme různé tlačítka, otočné knoflíky, stupnice a jiné. Vytvořením grafické podoby čelního panelu se dostáváme k přidání programového kódu, který čelní panel řídí. Programový kód v podobě blokového schématu vytvoříme (resp. nakreslíme) v okně blokového diagramu (Block diagram). LabVIEW využíváme pro komunikaci se zařízením pro sběr dat, zpracování obrazu, vizuální kontrolu, řízení pohybu, přes sběrnice (např. GPIB, RS-232 a RS-485).

2.2 Virtuální měřicí přístroje

Programy v LabVIEW nazýváme virtuální přístroje neboli VI (Virtual Instruments), které jsou svým vzhledem a činnostmi podobné skutečným měřicím přístrojům, jako jsou osciloskopy, multimetry, generátory atd. Termín VI je obdobný termínu program nebo funkce v jiných programovacích jazycích. K vytváření těchto programů LabVIEW nabízí širokou škálu nástrojů pro sběr, analýzu, zobrazení a ukládání dat. Obsahuje také nástroje pro nalezení a odstraňování chyb při vlastním sestavování programu. Vlastní koncept virtuálních měřicích přístrojů je velmi pokrokový. Umožňuje nám vytvářet přístroje, jejichž funkce a parametry odpovídají požadavkům uživatele, neboť jejich samotná realizace se uskutečňuje softwarově. Je ale nutné zakoupit licenci na software a dále je třeba vynaložit nemalé prostředky na nákup hardwarového vybavení v podobě počítačů a přídatných měřicích karet. Výhodou tohoto řešení je nemalá finanční úspora za nákup, uskladnění a provoz skutečných podstatně dražších měřicích přístrojů. Na druhou stranu jsou ale kladeny požadavky na znalost prostředí programu a práci s ním.

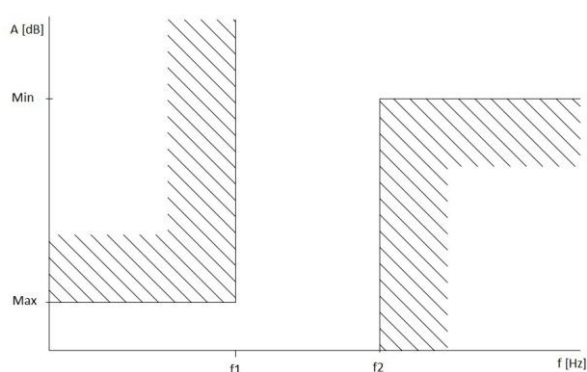
3 POUŽITÍ FILTRŮ

3.1 Filtry

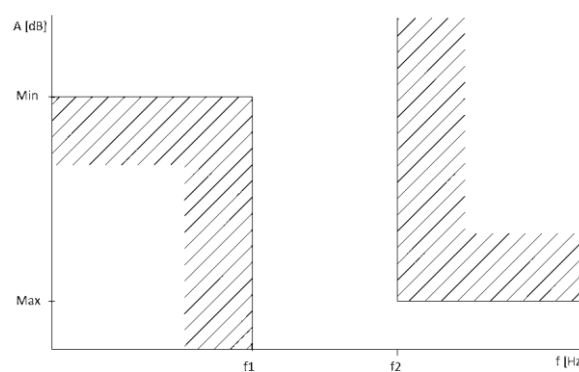
Filtry jsou frekvenčně závislé napěťové děliče. Kmitočtově rozdělují signál. Jedno frekvenční pásmo přenesou s nepatrným útlumem (propustí jej) a v jiném pásmu vykazují dostatečně velký útlum (potlačí je). Podle použitých součástek se filtry dělí na LC, RC a RLC filtry. Filtry neobsahující odpory jsou z energetického hlediska výhodnější, protože v odporech dochází k tepelným ztrátám. Z energetického hlediska se filtry konstruují buď jako pasivní nebo jako aktivní [7].

3.2 Toleranční schémata filtrů

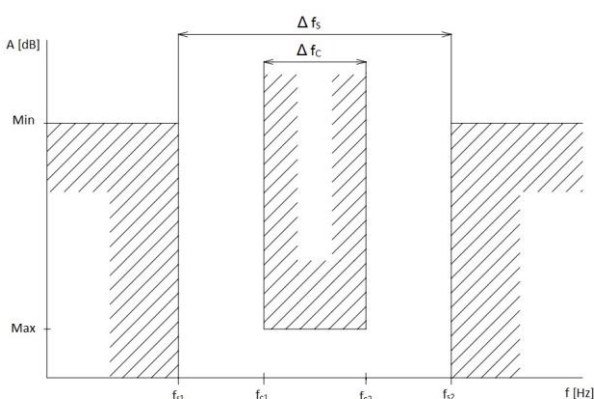
Filtry se mohou rozdělovat podle typu přenosové charakteristiky. Dělí se na dolní propust, horní propust, pásmovou propust a pásmovou zádrž. Na **Obr. 3.1** až **Obr. 3.4** jsou jejich schémata.



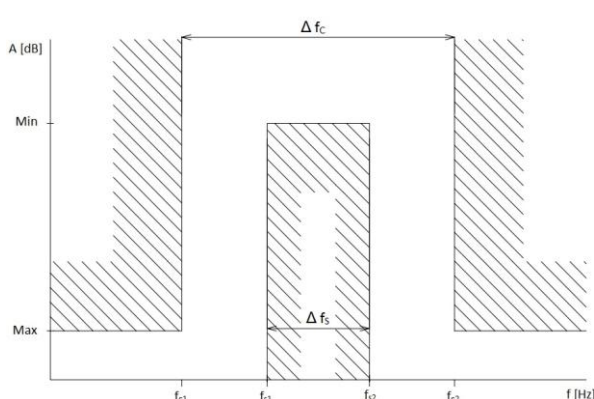
Obr. 3.1 Dolní propust [8]



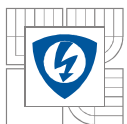
Obr. 3.2 Horní propust [8]



Obr. 3.3 Pásmová propust [8]



Obr. 3.4 Pásmová zádrž [8]



3.3 Typy aproximací přenosových charakteristik

Důležitým matematickým problémem syntézy je nalezení koeficientů přenosové funkce tak, aby splňovala zadané toleranční pole modulové charakteristiky. Teoreticky existuje nekonečně mnoho řešení, a proto lze k problému syntézy přistupovat z mnoha různých hledisek. V praxi se nejčastěji používá několik typů základních variant aproximací, které vyhovují běžným požadavkům. Pro speciální požadavky na vlastnosti přenosových funkcí se využívají i další, méně používané varianty aproximací. Taky je možné vytvořit si zcela vlastní variantu aproximace přenosové funkce [8].

3.3.1 Butterworthova aproximace

Tato aproximace má absolutně nejplošší charakteristiku v propustné oblasti. Řadíme ji mezi nejpoužívanější.

3.3.2 Čebyševova aproximace

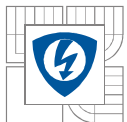
Je to druhá nejstrmější charakteristika v přechodném pásmu. Má velké potlačení v nepropustném pásmu. Mezi nevýhodu této aproximace patří větší nelinearita fázové charakteristiky.

3.3.3 Besselova aproximace

Používáme u filtrací, u kterých nám záleží na tom, abychom zachovali tvar průchozího signálu. Aproximace je plochá propustné oblasti. Nevýhodou je poměrně malá strmost modulové kmitočtové charakteristiky. Vyšší strmosti můžeme dosáhnout použitím vysokých řádů filtrů, což je ale nevýhodné. Aproximaci nemůžeme spočítat pomocí vzorce, ale pouze odečíst z modulové charakteristiky.

3.3.4 Cauerova (eliptická) aproximace

Caurerova aproximace má nejstrmější charakteristiku. Má zvlnění v propustné části charakteristiky a několik nulových bodů v pásmu potlačení. Přenosové funkce se počítají pomocí eliptických integrálů. Odtud název eliptická aproximace.



4 FOURIEROVA TRANSFORMACE

Fourierova transformace je nejvýznamnější a nejčastěji používaná integrální transformace, která je úspěšně použitelná k analyzování signálů. Dokáže signál převést na součet sinusových signálů vhodných frekvencí a amplitud. Výsledkem je spektrum, ze kterého vyplývá, jaké frekvence obsahuje analyzovaný úsek signálu. V obecném případě se jedná o vyjádření funkce popisující signál v jiných proměnných pomocí integrální transformace. Ve speciálním případě se uvažuje tzv. trigonometrická Fourierova transformace, která za základní funkce bere $\sin kt$ a $\cos kt$, kde k je celé číslo v případě Fourierovy řady nebo reálná proměnná v případě Fourierovy transformace [17].

Fourierova transformace je modifikací Fourierovy řady a je užitečná pro řešení mnoha různých problémů. Používá se např. pro převedení řešení diferenciálních rovnic na řešení algebraických rovnic nebo pro frekvenční analýzu časově proměnných signálů. Využívá ji například i kvantová fyzika. Definice spojitě Fourierovy transformace je dána integrální rovnicí:

$$F(j\omega) = FT\{f(t)\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad t, \omega \in \mathbb{R} \quad (1)$$

4.1 FT V OBLASTI SPOJITÝCH SIGNÁLŮ

Vhodným matematickým prostředkem pro spektrální představu aperiodických signálů je transformace definovaná jako:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

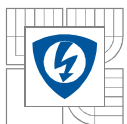
$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (3)$$

Vztah (2) se nazývá Fourierova transformace funkce $f(t)$ a značíme ji $F(\omega) = \mathcal{F}\{f(t)\}$. Vztah (3) se nazývá inverzní Fourierova transformace funkce $F(\omega)$ a značíme ji $f(t) = \mathcal{F}^{-1}\{F(\omega)\}$. Funkce $f(t)$ se nazývá vzor a funkce $F(\omega)$ se nazývá Fourierův obraz. Z odvození vyplývá, že funkce $F(\omega)$ reprezentuje frekvenční spektrum aperiodického signálu $f(t)$. Pro každou funkci, která je aperiodická, nemusí ale Fourierova transformace existovat. Aby tedy Fourierova transformace existovala, musí funkce $f(t)$ splňovat ještě tyto podmínky [16]:

- Funkce $f(t)$ musí být absolutně integrovatelná v intervalu $t \in (-\infty, +\infty)$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt \leq M < \infty \quad (4)$$

- Funkce $f(t)$ musí mít na každém konečném intervalu konečný počet nespojitostí a konečný počet maxim i minim [16].



4.2 DISKRÉTNÍ FOURIEROVA TRANSFORMACE DFT

DFT je definována pro posloupnosti konečné délky. Interval našeho zájmu je $\langle 0, 2\pi \rangle$. Pro každou konečnou posloupnost $f(k)$, $k = 0, 1, \dots, N-1$, $f(k) = 0, k \notin \langle 0, N-1 \rangle$ je přímá a zpětná diskrétní Fourierova transformace DFT dána:

$$F(m) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{-jm \frac{2\pi}{N} k} = D\{f(k)\} \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

$$f(k) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} F(m) e^{+jm \frac{2\pi}{N} k} = D^{-1}\{F(m)\} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (6)$$

kde $F(m)$ je diskrétní spektrum (posloupnost). DFT tak posloupnosti vzorků $f(k)$ konečné délky N přiřazuje opět posloupnost $F(m)$ stejné délky, která reprezentuje spektrum posloupnosti $f(k)$.

4.2.1 RYCHLÁ FOURIEROVA TRANSFORMACE FFT

Při výpočtu spektra $F(m)$ na počítači dle 0 musíme vykonat N násobení pro výpočet každé frekvenční složky, a tedy pro výpočet celého spektra celkem N^2 násobení. Tento výpočet by mohl pro velký počet vzorků N trvat nesmírně dlouho. Proto byly hledány efektivnější algoritmy výpočtu. V roce 1965 byl publikován algoritmus nazvaný *rychlá Fourierova transformace*, který postupně rozděluje počet vzorků na poloviny a využívá periodičnost komplexní exponenciální posloupnosti. Počet násobení je v tomto algoritmu roven $0,5N \log_2 N$ což vede ke značné časové úspoře [14].

4.3 FOURIEROVA ŘADA PERIODICKÉ FUNKCE

Nejjednodušší odvození Fourierovy transformace vychází z tzv. Fourierovy řady periodické funkce. Jedná se o skládání harmonických kmitů téhož směru s takovými frekvencemi, aby výsledná funkce mohla být periodická. Funkce daná touto superpozicí bude mít tvar:

$$f(t) = B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_1 t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega_1 t) \quad (7)$$

kde A_n , B_n jsou koeficienty tvořící tzv. spektrum funkce.

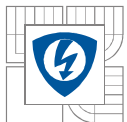
4.3.1 KOEFICIENTY FOURIEROVY ŘADY

Předpokládáme, že budeme uvažovat funkci periodickou na intervalu $\langle 0, T_1 \rangle$. Integrací získáme výsledné vztahy pro koeficienty:

$$A_m = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f(t) \sin(m\omega_1 t) dt \quad (8)$$

$$B_m = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f(t) \sin(m\omega_1 t) dt \quad (9)$$

$$B_0 = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f(t) dt \quad (10)$$



Fourierovu řadu můžeme vyjádřit také v komplexním tvaru, použitím Eulerových vztahů pro funkce $\cos(x)$, $\sin(x)$, $\exp(jx)$, jako

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(jn\omega_1 t) \quad (11)$$

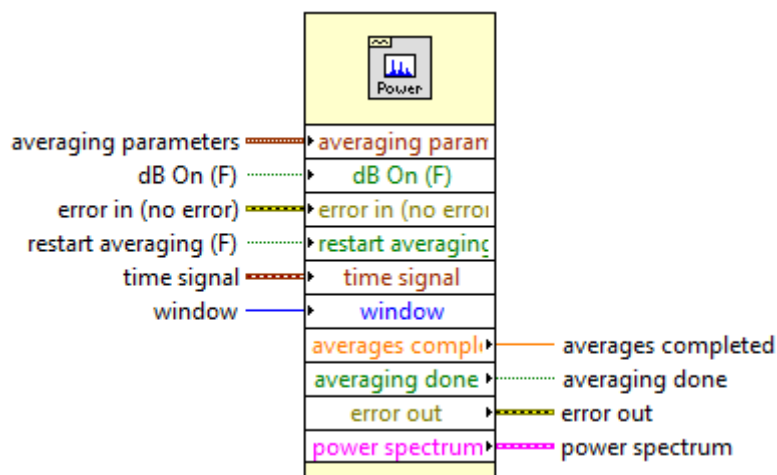
kde pro koeficienty C_n platí vztah [15]

$$C_m = \frac{2}{T_1} \int_0^{T_1} f(t) \exp(-jn\omega_1 t) dt \quad (12)$$

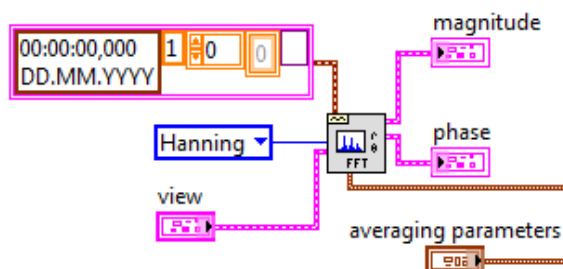
4.4 BLOK FFT SPEKTRUM

Rychlá Fourierova transformace a výkonové spektrum jsou výkonné nástroje pro analýzu a měření signálů. Můžeme efektivně měřit časově závislé signály, měřit frekvenční složky apod. Základní funkce pro FFT analýzu signálu jsou FFT, výkonové spektrum a křížové výkonové spektrum. Pomocí těchto základních prvků můžeme vytvořit další měřicí funkce, jako je frekvenční charakteristika, impulsní odezva, soudržnost, amplitudové spektrum a fázové spektrum.

V programu LabVIEW máme pro výpočet FFT několik možností. Máme blok pro výkonové spektrum, blok pro výpočet spektrální hustoty signálu, blok FFT, který nám vrací amplitudu a fázi vstupního signálu, blok FFT, kde výstupem je hodnota reálná a imaginární, dále funkce pro frekvenční odezvu signálu a funkce pro křížové spektrum.



Obr. 4.1 Blok pro výkonové spektrum



Obr. 4.2 Funkce pro výpočet FFT spektra složeného z amplitudy a fáze časového signálu

Celý funkční blok obsahuje tři vstupy a tři výstupy. Mezi vstupy patří *time signal*, *window* a *view*. Na stranu výstupů z funkce můžeme zařadit *magnitude*, *phase* a *averaging parameters* tak, jak můžeme vidět na **Obr. 4.2**. V následujících odstavcích si přiblížíme význam jednotlivých částí.

- Time signal

Vstup *time signal* slouží k připojení časového signálu, u kterého chceme provést spektrální analýzu.

- Window

Tento vstup slouží pro volbu okenní funkce aplikovanou na přivedený, časově proměnný signál. Ve výchozím nastavení je volba *Hanning*. Další možnosti v aplikaci LabVIEW jsou zobrazeny v **Tab. 1**. Popis vybraných okenních funkcí viz kap. **Okenní funkce**.

Rectangle	Seven Term Blackman-Harris
Hamming	Low Sidelobe
Blackman-Harris	Blackman Nutall
Exact Blackman	Triangle
Blackman	Kaiser
Flat Top	Dolph-Chebyshev
Four Term Blackman-Harris	Gaussian

Tab. 1 Přehled okenních funkcí

- View

Vstup sloužící k přepínání různých interpretací výsledků. Obsahuje možnosti pro zobrazení výsledku v *db*, konverzi ze stupňů na radiány a rozvinutí fáze.

- Magnitude

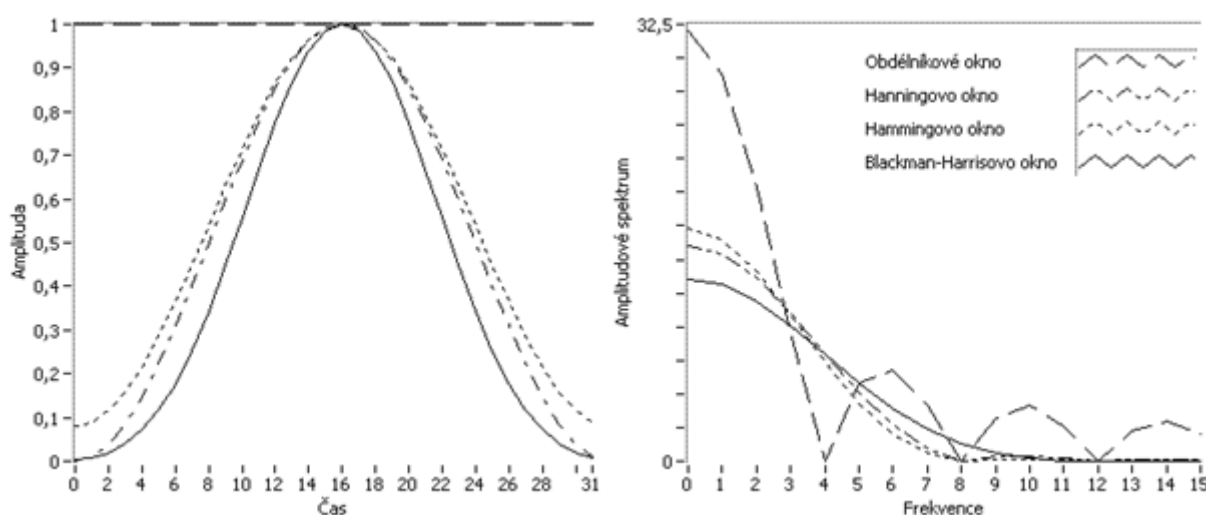
Výstup vrací velikost signálu průměrného FFT spektra a velikost frekvence.

- Phase

Výstup vrací hodnotu fázového posunu průměrného FFT spektra a velikost frekvence.

4.5 Okenní funkce

Při výpočtu Fourierovy transformace reálného signálu je potřeba použít některou z chovacích (okenních) funkcí. Omezí se tím zkreslení ve frekvenční oblasti, také nazývané přelévání spektra (prosakování spektra, aliasing). Existuje mnoho typů okenních funkcí, které mají různé filtrační vlastnosti. Především se jedná o šířku hlavního laloku a potlačení takzvaných postranních laloků. Čím širší je hlavní lalok, tím je vyšší přelévání energie a spektra a tedy nižší „ostrost“ spektra. A čím je hlavní lalok okenní funkce užší, tím je více postranních laloků a tedy více falešných frekvencí ve spektru. Často používané okenní funkce jsou obdélníkové okno a Hanningova, Hammingova a Blackmanova okenní funkce, které jsou zobecněním kosinových okenních funkcí. Průběhy hodnot a Fourierova spektra jmenovaných oken, jsou zobrazeny na **Obr. 4.3** Definované vzorce platí v intervalu $t \in \left(-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right)$ [10].



Obr. 4.3 Tvar nejpoužívanějších okenních funkcí a jejich spektra [10]

4.5.1 Obdélníkové okno

Obdélníkové okno vyjadřuje obecnou okenní funkci, která nemění hodnoty v segmentu signálu. Vyjadřuje se vztahem

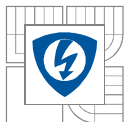
$$g(t) = 1 \quad (13)$$

Pro aplikaci FT je vhodné pouze v případě, že je zaručeno, že délka segmentu se rovná celočíselnému násobku period analyzovaných frekvencí.

4.5.2 Hanningovo okno

Hanningovo okno je často používaná okenní funkce s dobrým kompromisem mezi ostroostí spektra a potlačení falešných frekvencí. Má úzký hlavní lalok a malé postranní laloky. Používá se v úlohách krátkodobé analýzy a je vyjádřeno vztahem

$$g(t) = 1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (14)$$



4.5.3 Hammingovo okno

Hammingovo je modifikací okna Hanningova. Má také podobné vlastnosti. Používá se v krátkodobé analýze při použití techniky sčítání přesahů s 50% přesahem, kde vykazuje nejnížší zvlnění signálu po rekonstrukci. Vyjadřuje se vztahem

$$g(t) = 1 - 0,84 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (15)$$

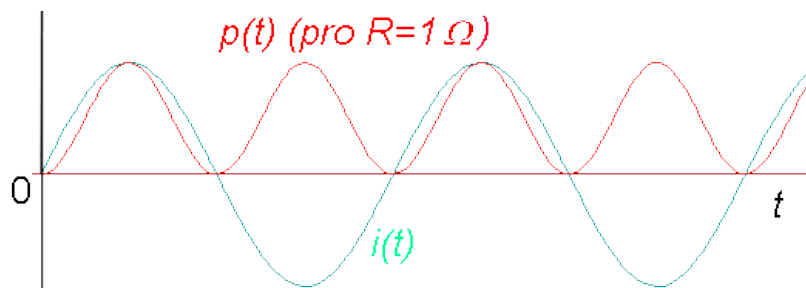
4.5.4 Blackman-Harrisovo okno

Toto okno má širší hlavní lalok a vyšší potlačení falešných frekvencí. Jeho spektrum je však méně „ostré“. Používá se v krátkodobé analýze při použití techniky sčítání přesahů s přesahem až 75%. Tato okenní funkce je vyjádřena vztahem

$$g(t) = 1 - 1,361 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 0,394 \cos\left(\frac{4\pi t}{T}\right) - 0,033 \cos\left(\frac{6\pi t}{T}\right) \quad (16)$$

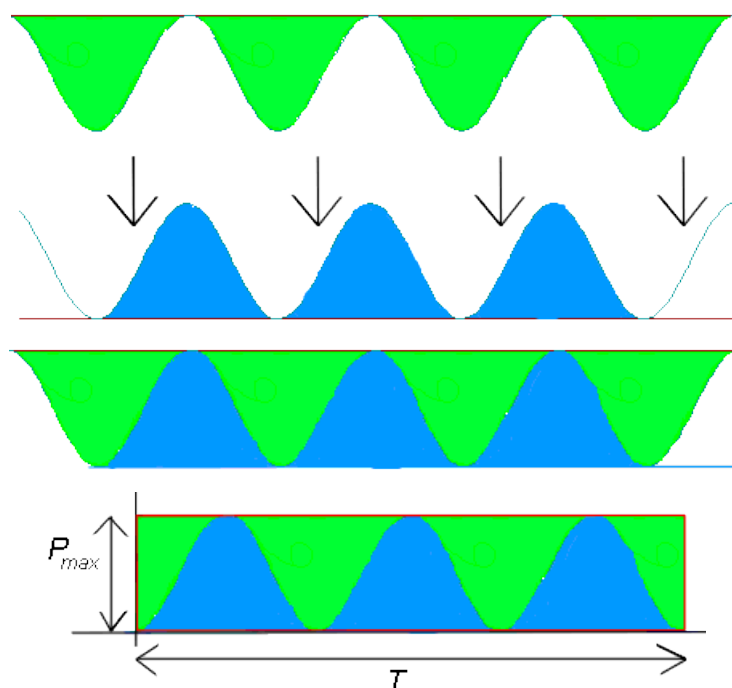
5 MOŽNOSTI MĚŘENÍ EFEKTIVNÍCH HODNOT

Efektivní hodnota střídavého proudu je hodnota proudu stejnosměrného, který v daném obvodu vykoná za stejný čas stejnou práci jako proud střídavý. Výkon P na rezistoru elektrickém obvodu je $P = U \cdot I$, kde U je napětí na prvku a I je proud jím procházející. Pomocí odporu R prvku můžeme tento vztah přepsat na $P = RI^2$. Ve střídavém obvodu s rezistorem je okamžitá hodnota výkonu $p(t) = Ri^2(t)$.



Obr. 5.1 Proud sinusového průběhu s maximem 1A [9]

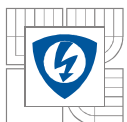
Celková práce za čas T je číselně rovna ploše pod červenou křivkou. Plocha červeně ohraničeného obdélníka na Obr. 5.2 tedy odpovídá dvojnásobné práci, kterou elektrický proud vykoná za čas T . Tato práce je tedy rovna $W = P_{MAX} \cdot \frac{T}{2}$.



Obr. 5.2 Plocha dvojnásobné práce [9]

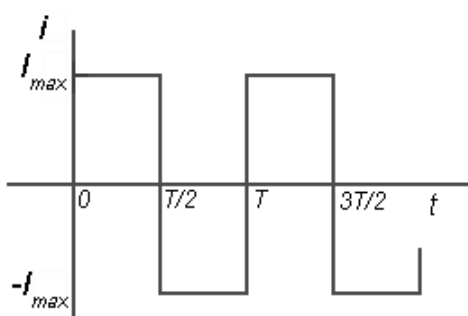
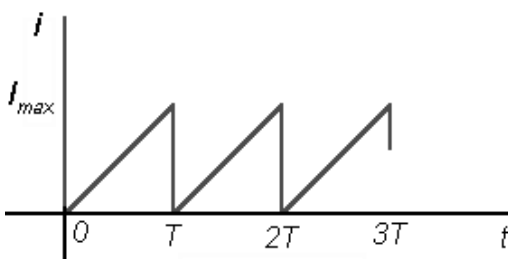
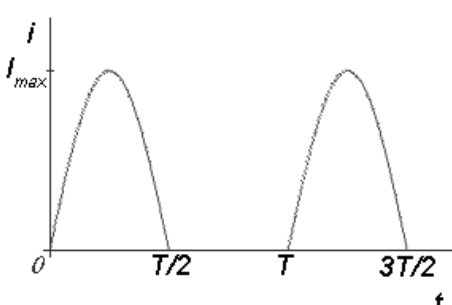
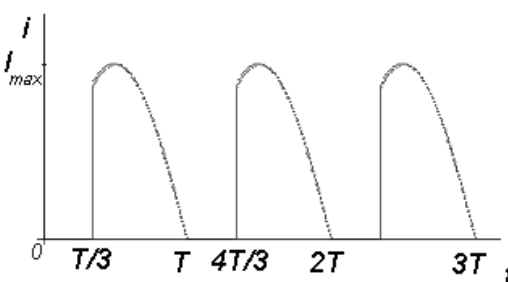
Jelikož platí $P_{max} = RI_{max}^2$, pak $W = \frac{1}{2} RI_{max}^2 T$. Za stejnou dobu T by ve stejném obvodu vykonal stejnosměrný elektrický proud I_{ef} práci $W = RI_{ef}^2 T$. Dáme-li podle definice efektivní hodnoty střídavého proudu obě práce do rovnosti, máme vztah $RI_{ef}^2 = \frac{1}{2} RI_{max}^2$.

Z toho je efektivní hodnota střídavého proudu rovna $I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$.

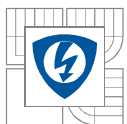


Efektivní hodnota proudu je úměrná ploše pod křivkou výkonu, tedy čím bude tato plocha menší, tím menší bude efektivní hodnota proudu [9].

Příklady efektivních hodnot jiných než sinusových průběhů střídavých proudů:

Průběh střídavého proudu v závislosti na čase	Efektivní hodnota proudu
	<p>Obdélníkový průběh</p> $I_{ef} = I_{max}$
	<p>Pilovitý průběh</p> $I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}}$
	<p>jednocestně usměrněný proud</p> $I_{ef} = \frac{I_{max}}{2}$
	<p>dvoucestně usměrněný proud bezeztrátově regulovaný</p> $I_{ef} \cong 0,63 \cdot I_{max}$

Tab. 2 Efektivní hodnoty proudů nesinusových [9]



6 ČINNÝ VÝKON

Pojem činný výkon je úzce spjat s dynamikou tepelných jevů. Každé vnitřně zahřívané těleso se chová jako dolní propust minimálně 1. řádu. Vstupní veličinou je tepelný výkon (tepelný tok) $p(t)$. Výstupní veličinou je pak teplota tělesa $T_C(t)$. Obě tyto veličiny považujeme za okamžité funkční hodnoty závislé na čase. Výkon $p(t)$ je periodickou funkcí času s periodou T . Časová tepelná konstanta τ_0 bývá většinou v rozsahu 0,5 s až do 24 h. Pak je ve většině technických aplikací splněna nerovnost:

$$\tau_0 \gg T$$

Splnění podmínky nerovnosti umožní dokonalou filtraci střídavých složek vstupního pulsujícího tepelného výkonu $p(t)$ a povrchová teplota tělesa se ustálí na konstantní hodnotě $T_C(t) = T_C = konst.$, která odpovídá střední hodnotě tepelného výkonu $p(t)$.

Činný výkon musí dodat do tělesa v časovém intervalu T stejné množství tepelné energie jako okamžitý periodicky pulsující výkon $p(t)$. Této podmínce vyhovuje střední hodnota z pulsujícího výkonu $p(t)$. Činný výkon je tedy totožný se středním výkonem. Matematicky lze tuto podmínku vyjádřit obecným vztahem:

$$P_{\check{c}} = P_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (17)$$

Fyzikální smysl mají pouze pojmy okamžitý výkon, střední výkon, činný výkon. Činný výkon vykazuje vždy stejný tepelný účinek jako pulsující výkon $p(t)$, tzn. stejné množství energie za jednotku času. Kromě toho vykazuje i stejný teplotní účinek, to však za předpokladu, že je splněna podmínka nerovnosti. Není-li podmínka splněna, pak teplota tělesa přestává být úměrná střednímu výkonu $P_{stř}$ a začíná sledovat v čase okamžitý výkon $p(t)$ [13].

6.1 Činný výkon neharmonického signálu

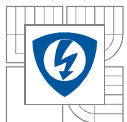
Máme-li neharmonické napětí, můžeme ho rozložit do Fourierovy řady na ss. složku U_{ss} a na harmonické složky s amplitudou U_{An} . A značí amplitudu, n určuje řád harmonické. Platí

$$u(t) = U_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{Un}) \quad (18)$$

kde $\omega_1 = 2\pi/T_1$, φ_{Un} je fázový posuv n -té harmonické oproti vztažné hodnotě $\varphi_{U1} = 0$. Protékající proud bude taky neharmonický a musí tedy obsahovat případnou ss. složku I_{ss} a vyšší harmonické složky o amplitudě I_{An} :

$$i(t) = I_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} I_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{In}) \quad (19)$$

kde φ_{In} je fázový posuv měřený proti vztažné hodnotě $\varphi_{U1} = 0$.



Činný výkon určíme z rovnice

$$P_{\check{c}} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \left[U_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} U_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{Un}) \right] \left[I_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} I_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{In}) \right] dt \quad (20)$$

Po roznásobení závorek se výraz rozdělí na součet stejnosměrné složky a nekonečného množství integrálů.

$$Int_{ss} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} U_{ss} I_{ss} dt = U_{ss} I_{ss} \quad (21)$$

$$Int_n = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} U_{ss} I_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{In}) dt = 0 \quad (22)$$

$$Int_m = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} I_{ss} U_{Am} \sin(m\omega_1 t + \varphi_{Um}) dt = 0 \quad (23)$$

$$Int_{m,n} = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} U_{Am} \sin(m\omega_1 t + \varphi_{Um}) I_{An} \sin(n\omega_1 t + \varphi_{In}) dt \quad (24)$$

přičemž $Int_{m,n} = 0$ pro $m \neq n$

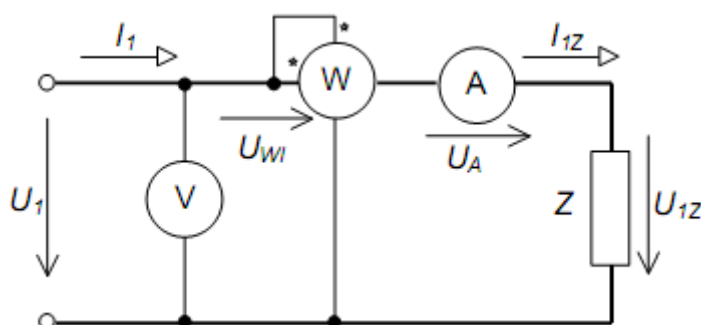
$$Int_{m,n} = \frac{1}{2} U_{An} I_{An} \cos(\varphi_{Un} - \varphi_{In}) = U_n I_n \cos \varphi_n \quad \text{pro } m = n$$

kde U_n a I_n jsou efektivní hodnoty a φ_n je fázový rozdíl mezi n -tou harmonickou proudu. Z rovnic pak pro činný výkon vyplývá [13]:

$$P_{\check{c}} = U_{ss} I_{ss} + \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n \quad (25)$$

6.2 Obvyklé měření výkonu střídavého proudu

Činný výkon střídavého proudu obvykle měříme wattmetry, většinou elektromechanickými s elektrodynamickým ústrojím, v poslední době i elektronickými. Z údaje wattmetru nepoznáme, jaký proud protéká proudovým obvodem, nebo jaké napětí je v napěťovém obvodu. Do série s proudovou cívkou wattmetru musíme proto vždy připojit ampérmetr a paralelně s napěťovou cívkou wattmetru musíme zapojit voltmetr. Wattmetry, elektrodynamické i elektronické, můžeme do měřeného obvodu zapojit dvěma způsoby, obě zapojení jsou zatížena chybami metod.



Obr. 6.1 Měření výkonu střídavého proudu v jednofázové síti, první zapojení [12]

V prvním zapojení viz **Obr. 6.1** udává wattmetr činný výkon zátěže, výkon spotřebovaný proudovou cívkou wattmetru a výkon spotřebovaný ampérmetrem. Činný výkon určený z výchylky wattmetru je tedy:

$$P_1 = P_{1Z} + P_{WI} + P_A \quad (26)$$

kde je P_{1Z} výkon zátěže,
 P_{WI} výkon spotřebovaný proudovou cívkou wattmetru,
 P_A výkon spotřebovaný ampérmetrem.

Výkon spotřebovaný proudovou cívkou wattmetru:

$$P_{WI} = R_{WI} \cdot I_{1Z}^2 \quad (27)$$

kde je R_{WI} odpor proudové cívky wattmetru,
 I_{1Z} proud procházející zátěží.

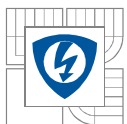
Výkon spotřebovaný ampérmetrem:

$$P_A = R_A \cdot I_{1Z}^2 \quad (28)$$

kde je R_A odpor ampérmetru.

Činný výkon zátěže je:

$$P_{1Z} = P_1 - P_{WI} - P_A \quad (29)$$



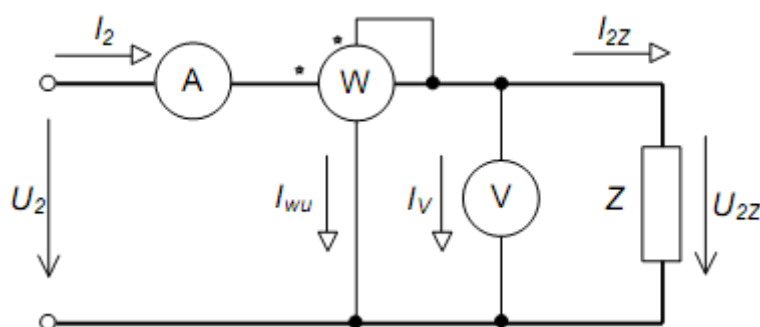
Z výše uvedených vztahů plyne, že absolutní chyba metody prvního zapojení je:

$$\Delta_{1M} = P_1 - P_{1Z} = P_{WI} + P_A \text{ (W)} \quad (30)$$

Pro relativní chybu metody platí:

$$\delta_{1M} = \frac{\Delta_{1M}}{P_{1Z}} \cdot 100 = \frac{P_{WI} + P_A}{P_{1Z}} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (31)$$

Způsob zapojení uvedený na prvním obrázku je používán tehdy, je-li úbytek napětí U_{WI} na proudové cívce wattmetru mnohem menší než napětí U_{1Z} na zátěži. V druhém zapojení viz **Obr. 6.2** udává wattmetr nejen výkon spotřebovaný zátěží, ale i výkony spotřebované napěťovou cívkou wattmetru a voltmetrem.



Obr. 6.2 Měření výkonu střídavého proudu v jednofázové síti, druhé zapojení [12]

Wattmetr tedy udává hodnotu:

$$P_2 = P_{2Z} + P_{WU} + P_V \quad (32)$$

kde je P_{2Z} výkon zátěže,
 P_{WU} výkon spotřebovaný napěťovou cívkou wattmetru,
 P_V výkon spotřebovaný voltmetrem.

Výkon spotřebovaný napěťovou cívkou wattmetru:

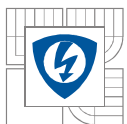
$$P_{WU} = \frac{U_{2Z}^2}{R_{WU}} \quad (33)$$

kde je R_{WU} odpor napěťové cívky wattmetru,
 U_{2Z} napětí na zátěži.

Výkon spotřebovaný voltmetrem:

$$P_V = \frac{U_{2Z}^2}{R_V} \quad (34)$$

kde je R_V odpor voltmetru.



Absolutní chyba metody druhého zapojení je rovna:

$$\Delta_{2M} = P_2 - P_{2Z} = P_{WU} + P_V \text{ (W)} \quad (35)$$

Relativní chyba druhé metody je:

$$\delta_{2M} = \frac{\Delta_{2M}}{P_{2Z}} \cdot 100 = \frac{P_{WU} + P_V}{P_{2Z}} \cdot 100 \text{ (%) } \quad (36)$$

Je-li proud I_{2Z} procházející zátěží mnohem větší než proud I_{WU} procházející napěťovou cívkou wattmetru, používáme druhé zapojení.

Z obou způsobů zapojení volíme takový, který vyhovuje našim požadavkům. Na otázku, zda je nebo není nutné provádět opravu na spotřebu proudové (napěťové) cívky wattmetru a ampérmetru (voltmetru), je jednoduchá odpověď. Vypočteme velikost spotřeby přístrojů v procentní míře a porovnáme ji s přesností použitého wattmetru; podle jejich poměru se rozhodneme.

Odpor napěťové cívky wattmetru a odpor voltmetru jsou vždy uvedeny na stupnici přístrojů. Odpory proudové cívky wattmetru a ampérmetru můžeme také nalézt na stupnici přístrojů [12].

6.2.1 Yokogawa WT 1600

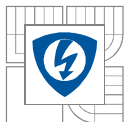
Yokogawa WT 1600 je digitální wattmetr určen pro měření velmi malých proudů v oblasti energetiky-úsporných zařízení, stejně jako pro měření velkých proudů i pro vyhodnocení velmi velkého zatížení. WT1600 pracuje s napětím od 1,5 V do 1000 V. S širokou podporou velkého spektra aplikací.



Obr. 6.3 Yokogawa WT 1600 [18]

Jedno zařízení WT1600 může provést až šest různých měření spotřeby (šesti vstupních každý pro napětí a proud). S opatřením start-stop funkce (synchronizované měření), dvě jednotky WT1600 (12 vstupů), je možné synchronizovat.

- Až šest fázových vstupů na jednu jednotku. Synchronizované měření mezi oběma jednotkami
- Široké vstupní rozsahy
- Ukládání dat 20 krát za sekundu



- Vysoká přesnost v oblasti širokého frekvenčního pásma
- Zvýšená zaručená přesnost rozsahu pro přesná měření
- Display Data Harmonické jako sloupcové grafy, vektory a seznamy
- GPIB rozhraní
- Integrace funkce schopna zvládnout rychlé změny vstupních signálů
- Ukládání průběhů, číselných hodnot a obrazovek do souboru

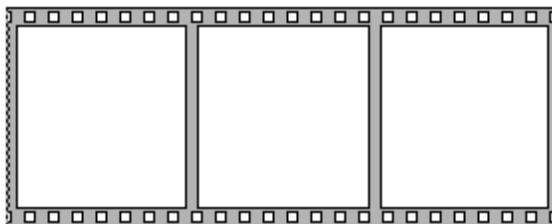
WT1600 má dva různé vstupní prvky. 5 A vstupní element je stanoven pro měření velmi malých proudů, zatímco 25 A vstupní prvek slouží k měření velkých proudů. Oba prvky mohou být instalovány společně v WT1600.

- Dva vstupní prvky
- 5 A vstupní prvek
- 10/20/50/100/200/500 mA, 1/2/5 (DC, 0,5 Hz až 1 MHz)
- 25 A vstupní prvek
- 1/2/5/10/25 (DC, 0,5 Hz až 100 kHz)

Aktuální senzor má vstupní rozsah (stejně pro 5 A a 25 A vstupní prvky, standard), 50/100/250/500 mV, 1/2/5/10 V (DC, 0,5 Hz až 500 kHz) [18].

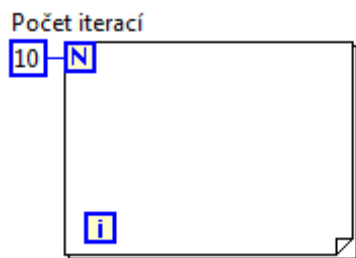
7 POPIS PROGRAMU A MĚŘENÍ

V této kapitole si popíšeme celkovou strukturu navržené aplikace, její tvorbu a nastavení. Hlavním prvkem je *Flat Sequence Structure*. Je to struktura, která se skládá z jednoho nebo více sub-diagramů či rámců, jejichž obsah a příkazy vykonává sekvenčně. Má zajistit postupné zpracování příkazů. Jednotlivé příkazy uvnitř struktur se zpracovávají nejdříve uvnitř levé struktury a pak postupně přechází zpracování do struktur vpravo. Vstup v jednom rámcu může záviset na výstupu dalšího rámu.



Obr. 7.1 *Flat Sequence Structure* o třech rámcích

V programu jsou použité tři rámce. První rámec pro počáteční vynulování výsledku. Druhý rámec obsahuje blok pro načtení zpracování a výpočet. Základní prvky druhého rámce tedy jsou: bloky na načtení Yokogawy WT 1600, bloky pro výpočet FFT a smyčku *For Loop*, ve které se nachází bloky pro výpočet a zpracování signálů. Poslední třetí rámec obsahuje zápis hodnoty výsledku.



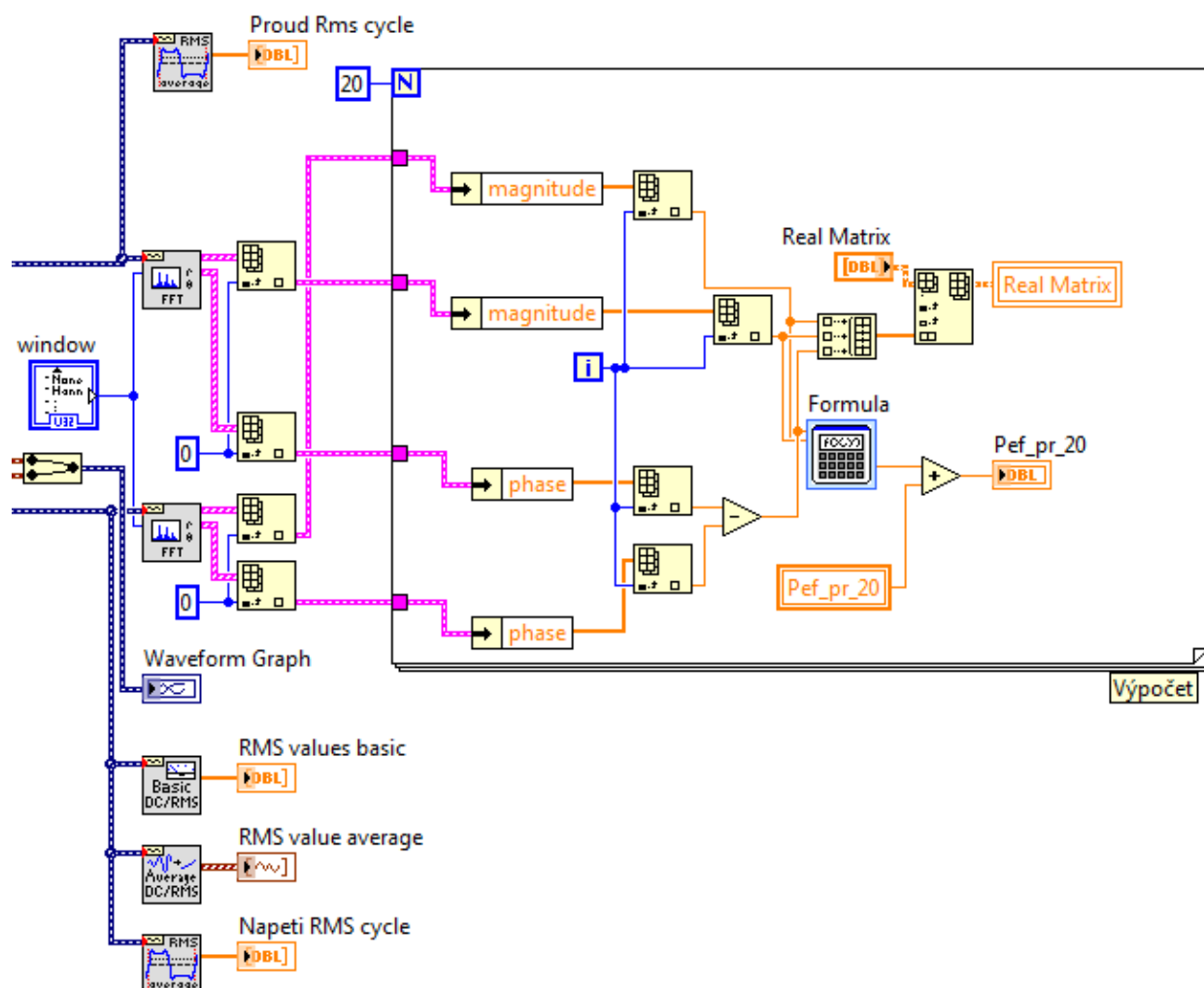
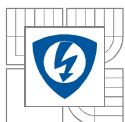
Obr. 7.2 *Smyčka For Loop*

7.1 Část měřicí

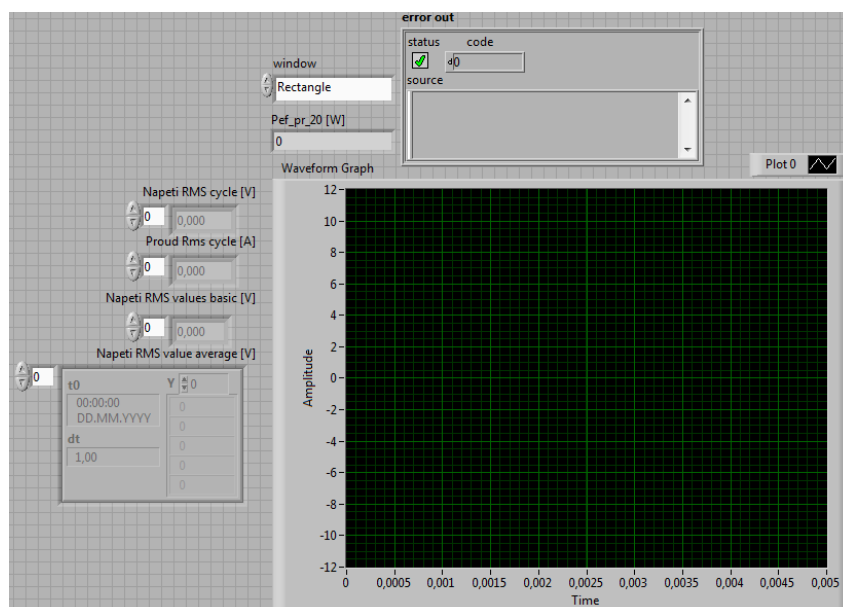
Tato část využívá volně dostupné knihovny a ovladače pro použité přístroje a slouží k inicializaci a funkčnímu propojení přístrojů.

Pro propojení generátoru signálů TEKTRONIX AFG 3021B a analyzátoru Yokogawa WT 1600 se použije sběrnice GPIB. Následuje blok, který slouží k počáteční inicializaci a základnímu nastavení zařízení. Dále je blok pro konfiguraci vzorkování, která se posílá dále do zařízení. Logický operátor pro nastavení vzorkování musí být povolen. Následuje blok pro pozastavení příkazů. Dalšími bloky jsou bloky k načtení dat. Jeden pro načtení z napěťového vstupu, druhý pro proudový vstup. Dále je blok pro načtení smplovací frekvence. K zapnutí chodu příkazu následuje blok, kde pro příkaz zastavení dat dáme hodnotu *false*. Výstupy z bloků pro načtení vedeme do bloků pro konverzi dat. Zde dojde k přetypování dat používaných měřicím přístrojem na data ve formě více rozměrných matic. Z naměřených dat v maticovém tvaru sestavíme

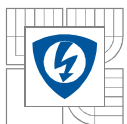
Následují další čtyři bloky *Index Array Function*, tentokrát indexem těchto matic je aktuální hodnota počtu iterací smyčky *For Loop*. Provedeme rozdíl fází mezi proudem a napětí a dostaneme fázový úhel φ . Nyní pomocí bloku *Formula* provedeme výpočet výrazu $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ a výsledkem je hodnota naměřeného výkonu motoru.



Obr. 7.6 Výpočetní část programu



Obr. 7.7 Pohled na čelní panel programu



7.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Cílem měření bylo změřit průběhy signálu pomocí vytvořeného programu v LabVIEW a jejich praktické ověření pomocí analyzátoru signálu Yokogawa WT 1600. Zdrojové signály byly generovány přístrojem TEKTRONIX AFG 3021B. Jedná se o signály sinus, obdélník, rampa a pulzní signál.

7.3.1 Efektivní hodnoty napětí a proudu

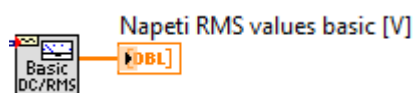
Tato kapitola obsahuje přehled vypočtených relativních chyb měřených efektivních hodnot signálů sinus, obdélník, rampa a pulzního signálu. Měření probíhalo pro více různých nastavení amplitud a frekvencí. Tabulky s kompletními výsledky jsou přiloženy v elektronické podobě v příloze na CD. Po konzultaci s vedoucím práce byly vybrány tyto hodnoty: frekvence 250 Hz, amplituda 10 V pro napětí a 10 A pro proud. Zpracovány budou výsledky relativních chyb. Za správnou hodnotu (referenční) budeme považovat hodnoty naměřené analyzátozem Yokogawa WT 1600.

Bloky přístrojů pro měření efektivních hodnot:

1) Měření 1



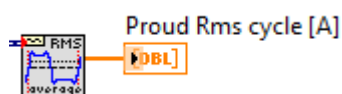
2) Měření 2

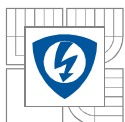


3) Měření 3



4) Měření 4





Tab. 3 Výpočet relativních chyb sinusového průběhu

Hodnoty změřené pomocí bloků v programu LabVIEW				Naměřeno s YokogawaWT 1600		Výpočet relativní chyby měření			
Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4	U_{RMS}	I_{RMS}	Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4
[V]	[V]	[V]	[A]	[V]	[A]	[%]	[%]	[%]	[%]
7,113	7,132	7,132	7,118	7,136	7,137	0,322	0,056	0,056	0,266

Tab. 4 Výpočet relativních chyb obdélníkového průběhu

Hodnoty změřené pomocí bloků v programu LabVIEW				Naměřeno s YokogawaWT 1600		Výpočet relativní chyby měření			
Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4	U_{RMS}	I_{RMS}	Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4
[V]	[V]	[V]	[A]	[V]	[A]	[%]	[%]	[%]	[%]
10,006	10,021	10,021	9,995	10,023	10,022	0,170	0,020	0,020	0,269

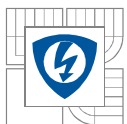
Tab. 5 Výpočet relativních chyb pro průběh rampa

Hodnoty změřené pomocí bloků v programu LabVIEW				Naměřeno s YokogawaWT 1600		Výpočet relativní chyby měření			
Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4	U_{RMS}	I_{RMS}	Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4
[V]	[V]	[V]	[A]	[V]	[A]	[%]	[%]	[%]	[%]
5,800	5,875	5,875	5,809	5,786	5,786	-0,242	0,017	0,017	-0,398

Tab. 6 Výpočet relativních chyb pulzního průběhu

Hodnoty změřené pomocí bloků v programu LabVIEW				Naměřeno s YokogawaWT 1600		Výpočet relativní chyby měření			
Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4	U_{RMS}	I_{RMS}	Měř. 1	Měř. 2	Měř. 3	Měř. 4
[V]	[V]	[V]	[A]	[V]	[A]	[%]	[%]	[%]	[%]
10,029	10,022	10,022	10,025	10,023	10,023	-0,060	-0,010	-0,010	-0,020

Z níže uvedených výsledků je patrné, že v rámci celkového měření efektivních hodnot je přesnost měření více než dostatečná. Celková přesnost se pohybuje v rozmezí od - 0,398 % do 0,322 %. Největší přesnosti v rámci vybraných bloků měření dosahují bloky **Měření 2** a **Měření 3**. Přesnost se zde pohybuje od - 0,01 % do 0,056 %. Zanesení menší chyby do měření může být způsobeno přenosem signálu z Yokogawy do systému LabVIEW.



7.3.2 Výkon

V této kapitole budou zpracovány výsledky změřených relativních chyb. Okenní funkce FFT použité pro měření byly čtyři: Obdélníkové okno, Hammingovo okno, Blackman-Harrisovo okno a Hanningovo okno. Po konzultaci s vedoucím byla pro názornost vybrána obdélníková okenní funkce, která během měření vykazovala relativně dobrou použitelnost s co nejmenší chybou. Tabulky kompletního měření jsou dostupné v elektronické podobě v příloze na CD. Frekvence byla vybrána pro 250 Hz, amplituda napětí a proudů 10. Všechny měření a výpočty budou pro 20, 100, 1000, 2000 iterací.

Tab. 7 Vypočtené relativní chyby výkonu pro sinusový průběh

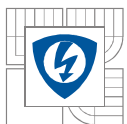
	Hodnota vypočtená pomocí LabVIEW	Naměřeno s YokogawaWT 1600	Výpočet relativní chyby měření
n	P	P	δ
	[W]	[W]	[%]
20	50,812	50,930	0,232
100	50,813		0,230
1000	50,864		0,130
2000	50,864		0,130

Tab. 8 Vypočtené relativní chyby výkonu pro obdélníkový průběh

	Hodnota vypočtená pomocí LabVIEW	Naměřeno s YokogawaWT 1600	Výpočet relativní chyby měření
n	P	P	δ
	[W]	[W]	[%]
20	90,338	50,930	0,232
100	97,732		0,230
1000	100,931		0,130
2000	100,931		0,130

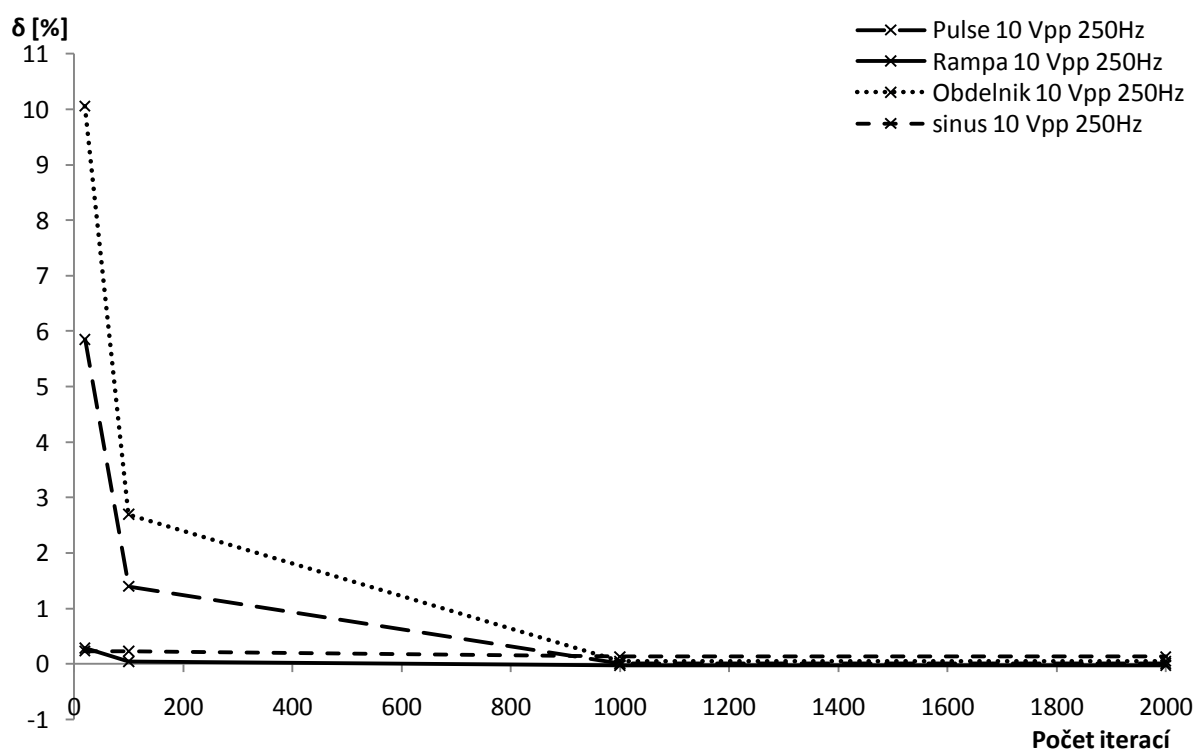
Tab. 9 Vypočtené relativní chyby výkonu pro průběh rampa

	Hodnota vypočtená pomocí LabVIEW	Naměřeno s YokogawaWT 1600	Výpočet relativní chyby měření
n	P	P	δ
	[W]	[W]	[%]
20	33,384	33,480	0,287
100	33,465		0,045
1000	33,489		-0,027
2000	33,489		-0,027

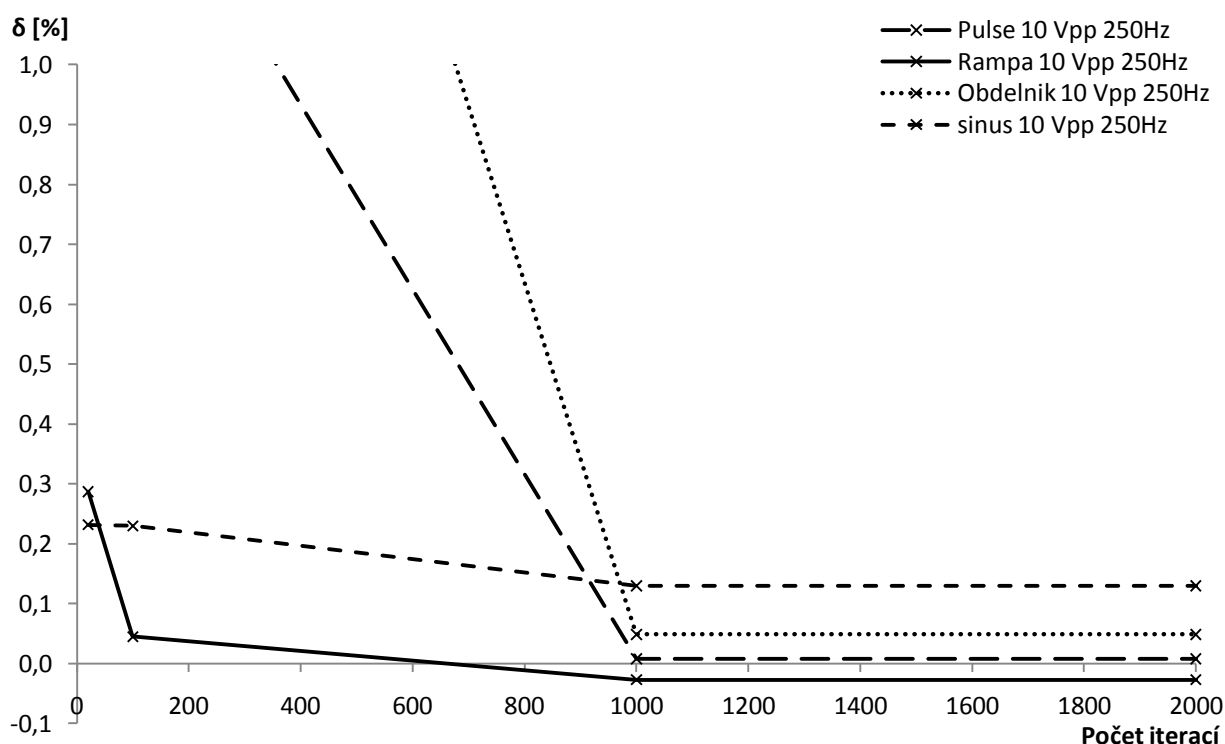


Tab. 10 Vypočtené relativní chyby výkonu pro pulzní průběh

	Hodnota vypočtená pomocí LabVIEW	Naměřeno s YokogawaWT 1600	Výpočet relativní chyby měření
n	P	P	δ
	[W]	[W]	[%]
20	94,576	100,450	5,848
100	99,047		1,397
1000	100,442		0,008
2000	100,442		0,008

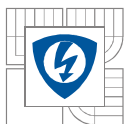


Obr. 7.8 Celkový pohled na velikost relativních chyb vypočteného výkonu



Obr. 7.9 Detailní pohled na velikost relativních chyb vypočteného výkonu

Z grafů a tabulek je zřejmé, že přesnost výpočtu výkonu roste s rostoucím počtem iterací. Počet iterací určuje počet harmonických signálů, se kterým bude výpočetní mechanismus pro určení výkonu pracovat. Je patrné, že pro 100 iterací dosahuje chyba měření do 3 %. U hodnot 1000 a 2000 iterací je rozdíl chyb mezi nimi už tak zanedbatelný, že nemá smysl používat větší počet iterací, a prodlužovat tak zbytečně výpočetní čas celého měření. Při 1000 iteracích je už chyba měření pro všechny měřené druhy signálů opravdu malá a dosahuje hodnoty maximálně 0,3 %. A to i u problematického obdélníkového signálu, kde při použití 10 iterací dosahuje chyba měření až 10 %. Tato velká chyba u obdélníkového signálu je způsobena tím, že obdélníkový signál má poměrně dlouhé FFT spektrum, které je i nad 10. harmonickou. Chybu tedy zmenšíme použitím většího počtu harmonických při výpočtu. Referenčním přístrojem pro určení správnosti vypočtených údajů jsme stanovili analyzátor Yokogawa WT 1600. Využívá stejného principu pro měření výkonů. Je navržen tak, že sčítá prvních sto harmonických časového průběhu.

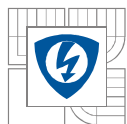


8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést měření a analýzu neharmonických signálů. V průběhu této práce bylo v program LabVIEW vytvořeno rozhraní určené k měření efektivních hodnot signálu a k výpočtu elektrického výkonu. Toto rozhraní spolupracuje s generátorem signálů TEKTRONIX AFG 3021B spolu s měřicím analyzátozem Yokogawa WT 1600. Hodnoty změřené a vypočtené v navržené aplikaci programu LabVIEW jsou porovnávány s naměřenými hodnotami skutečného měřicího přístroje Yokogawa WT 1600. Hodnoty naměřené tímto přístrojem budeme považovat za referenční při výpočtu relativních chyb.

Výsledky měření efektivních hodnot jsou přehledně zpracovány v tabulkách viz kapitola 7.3.1. V rámci celkového měření efektivních hodnot je přesnost měření více než dostatečná. Celková přesnost se pohybuje v rozmezí od - 0,398 % do 0,322 %. Největší přesnosti v rámci vybraných bloků měření dosahují bloky **Měření 2** a **Měření 3**. Přesnost se zde pohybuje v rozmezí od - 0,01 % do 0,056 %. Zanesení menší chyby do měření může být způsobeno přenosem signálu z Yokogawy do systému LabVIEW.

Zpracování měření výkonů obsahuje přehledné tabulky a grafickou závislost relativní chyby na počtu harmonických. Z grafů viz **Obr. 7.8** a **Obr. 7.9** je zřejmé, že přesnost výpočtu výkonu roste s rostoucím počtem iterací. Počet iterací určuje počet harmonických signálů, se kterým bude výpočetní mechanismus pro určení výkonu pracovat. Je patrné, že pro 100 iterací dosahuje chyba měření do 3 %. U hodnot 1000 a 2000 iterací je rozdíl chyb mezi nimi už tak zanedbatelný, že nemá smysl používat větší počet iterací, a prodlužovat tak zbytečně výpočetní čas celého měření. Při 1000 iteracích je už chyba měření pro všechny měřené druhy signálů opravdu malá a dosahuje hodnoty maximálně 0,3 %. A to i u problematického obdélníkového signálu, kde při použití 10 iterací dosahuje chyba měření až 10 %. Tato velká chyba u obdélníkového signálu je způsobena tím, že obdélníkový signál má poměrně dlouhé FFT spektrum, které je i nad 10. harmonickou. Chybu tedy zmenšíme použitím většího počtu harmonických při výpočtu. Referenčním přístrojem pro určení správnosti vypočtených údajů jsme stanovili analyzátor Yokogawa WT 1600. Využívá stejného principu pro měření výkonů. Ten je navržen tak, že sčítá prvních sto harmonických časového průběhu.



LITERATURA

- [1] *Ni.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-11]. National Instruments. Dostupné z WWW: <http://www.ni.com/>
- [2] DUŠEK, L. *Spstrutnov.cz/* [online]. 2005, 19. 12. 2005 [cit. 2010-04-11]. Využití ICT a měřicího systému LabVIEW na střední technické škole. Dostupné z WWW: <http://www.spstrutnov.cz/o-skole/projekty/ict-labview/labview.pdf/view>
- [3] ŠTĚTINA, J., JAROŠ, M., RAMÍK, P. *Autnt.fme.vutbr.cz* [online]. Brno : 2003 [cit. 2010-04-11]. Virtuální laboratoř - Experimentální metody. Dostupné z WWW: http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/FAQ/labview/Skripta_Stetina2003.pdf
- [4] *Ftp.ni.com* [online]. 2004 [cit. 2010-04-11]. Začínáme s LabVIEW. Dostupné z WWW: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/ee/labview_7.pdf
- [5] *En.wikipedia.org* [online]. 2010 [cit. 2010-04-11]. Butterworth filter. Dostupné z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter
- [6] VLACH, J., HAVLÍČEK, J., VLACH, M. *Začínáme s LabVIEW*. [s.l.] : [s.n.], 2008. 248 s.
- [7] HÁJEK, K., SEDLÁČEK, J. *Kmitočtové filtry*. [s.l.] : [s.n.], 2002. 536 s.
- [8] JIRKŮ, T. *Počítačový návrh planárních filtrů*. [s.l.], 2006. 118 s. VUT Brno. Diplomová práce. Dostupný z WWW: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/ukazkove_prace/Jirku/Jirku.pdf
- [9] *Lucy.troja.mff.cuni.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-11]. Efektivní hodnota střídavého proudu. Dostupné z WWW: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden_prechod/ef_hodnota.html
- [10] *P007.webpark.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-11]. Integrální transformace v metodách zvýrazňování řeči. Dostupné z WWW: http://p007.webpark.cz/se/2_ftwt.htm
- [11] *Ped.muni.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-11]. Obvody střídavého proudu. Dostupné z WWW: http://www.ped.muni.cz/wtech/elearning/ELE/Obvody_stridaveho_proudu.ppt
- [12] BEJČEK, L., et al. *Měření v elektrotechnice*. Brno : Vutium, 2002. 241 s. Dostupné z WWW: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=19338
- [13] PATOČKA, M. *Vybrané statě z výkonové elektroniky – Svazek 1*. Brno : Vutium, 2005. Činný výkon, s. 42-56.
- [14] JURA, P., POLANSKÝ, M. *Signály a systémy : Část 3: Diskrétní signály a diskř.* Brno : Vutium, 2007. 89 s.
- [15] *Apfyz.upol.cz* [online]. 2003 [cit. 2010-04-13]. Fourierova transformace. Dostupné z WWW: <http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/mini/fourtrans.pdf>
- [16] JURA, P. *Signály a systémy : Část 1: Spojité signály*. Brno : Vutium, 2007. 81s.
- [17] BARTOŠOVÁ, M. *Fourierova transformace* [online]. Ústí nad Labem : Most, 2006. 10 s. Seminární práce. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí. Dostupné z WWW: http://gis.fzp.ujep.cz/files/0605_Furierovatransformace.pdf
- [18] *Yokogawa Test & Measurement* [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <http://tmi.yokogawa.com/products/digital-power-analyzers/digital-power-analyzers/wt1600-digital-power-meter/>